

芒果渣提取物在芒果浆中的增香应用

徐翔宇, 滕建文*, 黄丽, 夏宁

(广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530000)

摘要: 为了解芒果渣提取物香气特征并探究其作为芒果浆增香剂的潜力, 采用气相色谱-质谱联用技术与感官评价方法, 对“台农1号”小果芒果肉、果渣及果渣提取物的挥发性物质、香气特征与强度进行了分析。结果显示, 芒果肉、芒果渣、芒果渣提取物检出挥发性香气物质分别为 67、71、73 种, 挥发性物质总含量分别为 821.06、835.80、793.80 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 芒果渣提取物主要由酯类、醛类、醇类和酮类组成, 而芒果肉、芒果渣主要由萜烯类、芳香烃类、醇类和酚类物质组成, 芒果渣提取物的嗅闻香气强度约为果肉原浆的两倍。同时, 10% (m/V) 提取物添加时的芒果浆在感官评价中表现为香气强度增强, 香气协调, 确定为最适添加量。加香芒果浆的香气物质共 77 种, 总含量为 667.20 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 高于对照组, 且重要风味成分增多, 与芒果原浆的相似度为 0.996。综上, 芒果渣提取物回添于芒果浆, 可增强芒果浆的香气且不破坏原有香气, 提升香气品质。该研究为芒果副产物的高值化利用和水果加工副产品的多样化开发提供了数据支持与参考。

关键词: 芒果浆; 芒果渣; 副产物; 天然香精提取; 香气增强

文章编号: 1673-9078(2026)3-297-311

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.3.1936

Aroma Enhancement of Mango Pomace Extract Application in Mango Pulp

XU Xiangyu, TENG Jianwen*, HUANG Li, XIA Ning

(College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530000, China)

Abstract: To investigate the aroma characteristics of mango pomace extracts and explore their potential as a flavor enhancer in mango pulp, gas chromatography-mass spectrometry and sensory evaluation were used to analyze the volatile compounds, aroma characteristics, and aroma intensity of the pulp, pomace, and pomace extract of the Tainong No.1 Mango (small-fruit variant). A total of 67, 71, and 73 volatile compounds were identified in the mango pulp, pomace, and pomace extract, respectively, showing total concentrations of 821.06, 835.80, and 793.80 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. Volatile compounds in the extract were predominantly composed of esters, aldehydes, alcohols, and ketones, whereas those in the pulp and pomace were dominated by terpenes, aromatic hydrocarbons, alcohols, and phenols. Notably, the aroma intensity of the extract was approximately twice that of the pulp. Sensory evaluation revealed that mango pulp in combination with 10% (m/V) mango pomace extract achieved optimal flavor enhancement characterized by an intensified yet well-balanced aroma. A total of 77 aroma compounds were identified in the pulp supplemented with mango pomace extract, exhibiting a concentration of 667.20 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and exceeding the control group in both the total content and diversity of key flavor components (similarity index: 0.996 vs raw pulp). In conclusion, the aroma quality of mango pulp was effectively enhanced by pomace extract supplementation, with the original aroma profile remaining undisrupted. This study provides support and reference data for the high-value use of mango by-products and the diversified development of fruit-processing by-products.

Key words: mango pulp; mango pomace; by-products; natural flavor extract; aroma enhancement

引文格式:

徐翔宇, 滕建文, 黄丽, 等. 芒果渣提取物在芒果浆中的增香应用[J]. 现代食品科技, 2026, 42(3): 297-311.

XU Xiangyu, TENG Jianwen, HUANG Li, et al. Aroma enhancement of Mango pomace extract application in mango pulp [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(3): 297-311.

收稿日期: 2024-12-27; 修回日期: 2025-01-15; 接受日期: 2025-01-25

基金项目: 广西重点研发计划项目 (桂科 AB22035020); 南宁市重点研发计划项目 (20212015)

作者简介: 徐翔宇 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 亚热带水果加工及其副产品综合利用, E-mail: 1041883715@qq.com

通讯作者: 滕建文 (1969-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 亚热带水果加工及其副产品综合利用, E-mail: tjw1027@gxu.edu.cn

芒果 (*Mangifera indica* L.) 以其味道香甜、风味浓郁而深受全球消费者的喜爱, 是重要的热带水果之一。2023 年, 世界芒果产量约为 611 万 t^[1]。除了鲜食, 芒果常被加工成芒果浆、果干、果汁等, 其中芒果浆是最常见的芒果加工产品^[2]。随着以中国为代表的全球新茶饮行业的迅速发展, 冷冻芒果浆成为新茶饮行业中的当红果浆原料。我国主要使用“台农 1 号”芒果小果 (以下简称为“小台农芒果”) 作为冷冻芒果浆的原料, 并经加糖标准化后以 25 °Bx 糖度的果浆形式销售。标准化的芒果果浆因添加糖液调配而稀释了其风味强度, 导致香气强度降低, 而获得更高的水果风味强度是产品品质要求及产业发展的需要。

同时, 在芒果浆加工中会产生一系列副产物, 去皮、去核并获得芒果浆后, 需通过离心式过滤精制, 调整果浆中纤维性果肉及破碎的果皮杂质含量, 此时排放的这一副产物为芒果渣。芒果渣具有典型的芒果风味, 提取其中的天然香精并用于果浆调配, 或可在标准化过程中增强果浆风味强度, 同时实现芒果加工副产物的综合利用。近年来, 水果副产物的利用广受关注, 已有一些研究将提取物应用于食品中, 发挥增香作用。崔翠翠等^[3]发现随着橙汁样品中橙油添加量的增加, 挥发性化合物种类与含量增加, 添加 0.10% 的橙油时橙汁的滋味和整体风味最优。Yetisen 等^[4]在柠檬汁中添加天然柠檬皮油, 使柠檬汁香气活性化合物的量显著增加。

旋转锥蒸馏塔 (Spinning Cone Column, SCC) 法是目前挥发性香气成分分离中使用较为前沿的技术, 具有效率高、停留时间短、温度控制范围广、适应性强等优点^[5], 广泛应用于酒类脱醇^[6,7]、茶叶香气回收^[8]以及天然水果香精提取^[9]等, 但目前仍未见有 SCC 技术用于芒果渣风味提取并回用于芒果浆中的实际应用或相关研究的文献报道。

目前已有的研究均以台农芒果 (台农 1 号) 统称, 并未对大、小台农芒果进行区分, 小台农芒果与芒果原浆及精制过程产生的果渣副产物的风味未见有报道, 它们的风味是否相似或互补也尚未明确。本研究通过气相色谱质谱联用技术表征小台农芒果、芒果浆及芒果渣 SCC 提取物的挥发性成分, 评价其香气品质, 并验证芒果渣 SCC 提取物对芒果果浆的增香效果。以期作为芒果果浆的标准化生产方法及其增香技术提供科学依据, 促进芒果加工副产物的高效利用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

芒果, 实验所用芒果均采购于和谊海南基地, 品

种为“台农 1 号”, 选取果形端正, 无病虫害及机械伤, 成熟饱满度为 7~8 成且质量小于 200 g 的芒果果实, 采摘后立即运回实验室; 芒果渣 (GZ), 从芒果浆生产线采集, 制浆原料为“台农 1 号”芒果小果 (质量小于 200 g), 密封包装后于 -20 °C 保存; 新鲜芒果与芒果渣, 由广西和谊食品有限公司提供; 芒果渣提取物 (TQW), 采用 SCC 1000 旋转锥蒸馏塔从芒果渣中提取, 于 4 °C 保存, 由恒枫食品科技有限公司提供; 白砂糖, 购于超市; 氯化钠、无水乙醇 (分析纯), 国药集团化学试剂有限公司; 环己酮 (色谱纯), 上海麦克林生化科技有限公司; 正构烷烃标准品 (C7~C40) (色谱纯), 美国 Supelco 公司。

AE224 型分析天平, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; MJ-LZ25Easy119 打浆机, 广东美的电器股份有限公司; WYA-2S 数字阿贝折光仪, 上海仪电物理光学仪器有限公司; HH-S6 恒温水浴锅, 常州菲普实验仪器厂; 7890B-5977A 型气相色谱-质谱联用仪、HP-Innowax 毛细管色谱柱 (60 m×0.25 mm 内径×0.25 μm), 美国 Agilent 公司; SPME 纤维萃取头 (50/30 μm DVB/CAR/PDMS), 美国 Supelco 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的制备

芒果原浆 (GJ), 芒果去皮去核后取果肉打浆, 初始糖度为 22 °Bx。加水调配芒果浆 (JS), 每 100 g 芒果原浆通过加入糖液 (15 mL 蒸馏水溶解 9 g 白砂糖) 将糖度调整为 25 °Bx (以市售冷冻芒果浆为参照)。加香调配芒果浆 (JX), 每 100 g 芒果原浆通过加入含提取物糖液 (10 mL 芒果渣提取物与 5 mL 蒸馏水混合后溶解 9 g 白砂糖) 将糖度调整为 25 °Bx。上述样品在制样完成后密封包装于 -20 °C 保存。

1.2.2 挥发性成分的测定

参照 Ma 等^[10]的方法并略作改动。

1.2.2.1 挥发性成分的提取

芒果渣以蒸馏水按 1:9 (*m/V*) 稀释, 芒果渣提取物按 1:19 (*m/V*) 稀释, 芒果原浆、加水调配芒果浆及加香调配芒果浆分别按 1:4 (*m/V*) 稀释, 混合均匀。称取 5 g 稀释后的样品于 20 mL 顶空瓶中, 加入 1 g 氯化钠和 5 μL 内标物环己酮 (0.5 μg·kg⁻¹), 放入搅拌转子。插入预先老化 (250 °C, 30 min) 的 SPME 纤维萃取头, 50 °C 持续恒温搅拌萃取 30 min。将萃取头插入气相色谱进样口, 解吸 6 min。

1.2.2.2 挥发性成分的提取

色谱条件: 以不分流模式注入, 载气为氦气, 流

量 1.0 mL·min⁻¹。由于样品挥发性物质差异,采用两种不同升温程序。芒果原浆、芒果渣样品使用升温程序 1: 初始温度 50℃,保持 2 min 后以 4℃·min⁻¹ 速率升高到 140℃,最后以 10℃·min⁻¹ 的速率升高到 250℃,保持 3 min。其他三种样品使用升温程序 2: 初始温度 50℃,以 5℃·min⁻¹ 的速率升高到 250℃,保持 3 min。

质谱条件: 电离方式为电子轰击离子源(EI), 电子能量 70 eV, 离子源温度 230℃, 溶剂延迟 3 min, 扫描质量范围 35~450 u。

定性定量方法: 定性分析使用质谱数据库法和保留指数(Retention Index, RI)法。与 NIST 14.0 标准谱库匹配,选取匹配度大于 80 的峰并结合参考文献定性。同时测定相同条件下 C7~C40 的保留时间,计算保留指数,与保留指数网站(<https://webbook.nist.gov/chemistry>)的 RI 值对照定性。定量分析使用内标法相对半定量,挥发性成分含量按公式(1)计算:

$$C_x = \frac{C_0 \times V_0 \times S_x \times n}{S_0 \times m}$$

(1)

式中:

- C_x ——未知化合物的含量, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- C_0 ——内标物的质量浓度, $\mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$;
- V_0 ——内标物进样体积, μL ;
- S_x ——未知化合物的峰面积, AU·min;
- n ——样品稀释倍数;
- S_0 ——内标物峰面积, AU·min;
- m ——试样的质量, kg。

OAV 值分析: 食物中高于其感官阈值浓度的化合物是其香气的重要贡献者,通过计算气味活度值(Odor Activity Value, OAV)来评估挥发性物质的贡献, OAV 值按公式(2)计算:

$$OAV = \frac{C_x}{T_x}$$

(2)

式中:

- C_x ——挥发性风味物质含量, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- T_x ——该物质在水中的嗅味感觉阈值, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

相似度计算: 采用夹角余弦法^[11]计算相似度,取芒果原浆与样品的共有物质峰,以峰面积为指标进行计算,相似度按公式(3)计算:

$$\cos\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n a_i b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2 \sum_{i=1}^n b_i^2}}$$

(3)

式中:

- α ——两向量间的夹角;
- n ——共有峰数;
- a_i 、 b_i ——分别为试样 A、B 中对应的共有特征峰峰面积。

1.2.3 感官评价

选取 18 名经过培训的人员组成感官评价小组(5 名男性,13 名女性,年龄:20~26 岁),对样品进行评价。

1.2.3.1 芒果渣提取物与芒果原浆的嗅闻阈值试验

参照 Kessler 等^[12]的方法并进行修改。芒果渣提取物(可溶性固形物含量为 0)与芒果原浆(可溶性固形物含量为 22%)分别按体积比 1:9、1:19、1:39、1:79、1:159、1:319 以蒸馏水梯度稀释。取 10 mL 稀释液于 20 mL 不透明顶空瓶中,密封于室温静置,平衡 30 min。感官评价员嗅闻样品,当每个人嗅闻到对气味的最小感知值时试验结束。记录半数以上感官评价员嗅闻到的最大稀释倍数值作为嗅闻阈值。

1.2.3.2 不同浓度加香调配芒果浆的香气评价

分别取 0、5、10、15 mL 芒果渣提取物,各加入蒸馏水至 15 mL 制成混合液后,加入 9 g 白砂糖,搅拌至完全溶解,测得混合糖液总体积为 20.2 mL。将溶解后的混合糖液全部转移至 100 mL 芒果原浆中,充分混匀,制成四种不同添加量的调配芒果浆,即以芒果原浆体积为基准,对应的提取物添加体积比例为芒果原浆的 0% (A 组)、5% (B 组)、10% (C 组)、15% (D 组)。感官评价员根据感官评价标准(表 1)对四种芒果浆的嗅闻香气强度、香气平衡协调感、吞咽鼻后感、异味进行评分,结果以平均分表示。

1.3 数据与分析

以上实验均平行测定 3 次,结果以平均值±标准偏差表示。使用 Excel 2016 对数据进行统计整理,SPSS 24.0 进行单因素方差分析和邓肯多重比较以检验样品组间显著性($P < 0.05$),Origin 2018 对试验数据和统计结果作图。

表 1 不同提取物添加量芒果浆感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standards for mango pulp with different extract additions

评分项目	评价内容	评分
嗅闻	香气强度 以空白样品(A)为参照(5分), (10分) 分值越高表示强度越高	0~10
	香气平衡与协调(10分) 气味过于强烈或不协调	0~5
	香气平衡、协调,分值越高表示香气协调度越高	6~10
品尝	吞咽鼻后感 以空白的样品为参照(5分), 强度(10分) 吞咽鼻后感香气强度,分值越高表示强度越高	0~10
	异味(10分) 异味处于可接受范围,对样品无负面影响,0分表示无异味	0~5
	异味带来负面影响,10分表示无法忍受	6~10

2 结果与分析

2.1 小台农芒果果肉、果渣及SCC提取物的表征与香气分析

2.1.1 小台农芒果果肉、果渣及SCC提取物的挥发性成分分析

采用顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱联用技术（Headspace Solid-Phase Microextraction coupled with Gas Chromatography-Mass Spectrometry, HS-SPME-GC-MS）对芒果渣提取物、芒果渣、芒果原浆的挥发性物质进行测定及表征，结果见表2。图1是三种样品挥发性成分的总离子流图。芒果原浆、芒果渣、芒果渣提取物检出挥发性香气物质分别为67、71、73种，三者共有的挥发性物质为21种，挥发性物质组成与含量如图2所示。

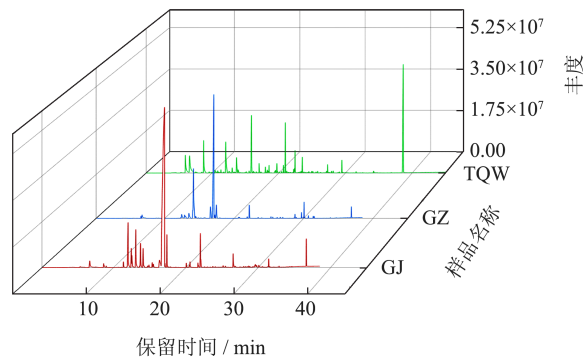


图1 芒果原浆、果渣与提取物挥发性成分总离子流图

Fig.1 Total ion flow diagram of volatile components in mango puree, pomace and extract

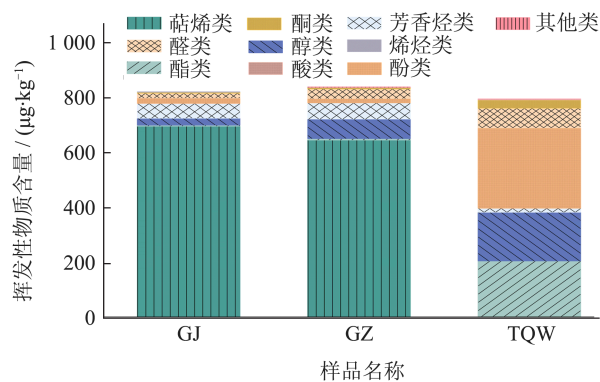


图2 芒果原浆、果渣与提取物挥发性物质组成堆叠图

Fig.2 Stack diagram of volatile substances composition of mango puree, pomace and extract

芒果原浆中共检测出67种挥发性成分，香气物质总含量821.06 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，其中以萜烯类物质为主，相对含量占84.76%，其次为芳香烃类（6.59%）、醇类（3.06%）、酚类（2.37%）和醛类（2.11%）等。与大

多数芒果类似，萜烯类物质是最主要的挥发性物质组成成分，萜烯类物质常具备松香、花草香型特征，也被认为是芒果中最主要、最丰富的香气物质^[21]。其中，异松油烯是芒果原浆中最主要的挥发性化合物，具有甜香、松香、让人愉悦的气息，被认为对于台农1号芒果的特征香气成分贡献最大^[22]。芳香烃是芒果原浆中另一主要香气化合物，占6.59%，其中，p-伞花烃具备柑橘香和绿色清香，且被认为是芒果果肉风味的有效和主要香气贡献者^[15]。芒果原浆中含9种醇类物质，占3.06%。除嗅觉阈值较高的乙醇外，主要醇类包括对甲基苯异丙醇、正辛醇、香叶醇、(E)-3-己烯-1-醇及顺-2-戊烯-1-醇等，这些物质为芒果原浆提供了花香、果香和清香。酚类和醛类物质的含量较低，分别为2.36%和2.11%，表现出酚醛气味^[23]与果实的甜味、草本风味^[24]。酯类也是组成芒果特征香气的重要物质，被认为是芒果成熟的主要标志物^[25]。芒果原浆中的酯类物质包括丁酸乙酯（甜果香）、巴豆酸乙酯、辛酸乙酯（百合花香）等7种，其中丁酸乙酯、巴豆酸乙酯等C2~C6的酯类也是成熟芒果果实的特征香气成分^[26]。然而，在本研究中酯类物质的含量较低，可能与芒果经过呼吸跃变期后，醇-酰基转移酶活性下降抑制了酯类的合成有关^[27]。与前人^[28]关于台农芒果的研究结果相比，挥发性成分种类及其相对含量基本一致，但萜烯类物质更丰富，松香、柑橘香、甜香的香型特点可能更明显。

芒果渣中共检测出71种挥发性成分，香气物质总含量为835.80 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，主要由萜烯类（77.06%）、醇类（8.48%）、芳香烃类（7.01%）、醛类（4.16%）、酚类（1.89%）等物质组成，整体挥发性物质种类与芒果原浆较相似。萜烯类香气物质在芒果渣与芒果原浆中都有较大比重，两者共同的萜烯类物质有21种，但芒果渣中的萜烯类成分种类和含量少于芒果原浆。在萜烯类物质中，仅有D-柠檬烯（166.60 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）含量高于芒果原浆（19.49 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ），并且这一水平也明显高于前人研究^[29]中台农芒果果肉内D-柠檬烯的相对含量。D-柠檬烯是柠檬烯的主要活性形式^[30]，为芒果渣提供了柑橘、柠檬、绿色气味，对芒果香气有重要贡献。芒果渣中醇类物质相对含量高于芒果原浆，其中，香茅醇、芳樟醇、(2Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇等9种醇类物质在芒果原浆中未检出。在芳香烃类物质中，p-伞花烃及2,4-二甲基苯乙烯是芒果渣与芒果原浆中仅有且共有的两种芳香烃类物质，芒果渣中的p-伞花烃高于芒果原浆，使得柑橘香和绿色清香更强。芒果渣中的醛类香气物质含量约为芒果原浆的两倍，且种类更多，柠檬醛、香茅醛、壬醛等22种醛类香气物质赋予了芒果渣丰富的柠檬香、柑橘香和草木清香。芒

果渣中酚类、烯烃类物质的相对含量与芒果原浆差异较小,酯类、酮类物质略高于芒果原浆,甜果香与草木香可能比芒果原浆更强。Oliver 等^[14]发现芒果皮、核副产物中挥发性化合物的类别与食用部分的挥发性化合物相同,而果皮中萜烯类、醇类、醛类、酮类等挥发性化合物含量均高于果肉。推测芒果渣与芒果原浆之间的香气差异可能是由于芒果渣中含有破碎的芒果皮,使得挥发性化合物种类与含量更丰富,尤其是醛类和醇类物质,增加了花香、柠檬香、柑橘香和草木清香。

芒果渣提取物中共检测出 73 种挥发性成分,香气物质总含量为 $793.80 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 主要成分为酚类 (36.84%)、酯类 (25.44%)、醇类 (22.29%)、醛类 (8.98%)、酮类 (3.83%)、芳香烃类 (1.89%) 物质,还包括少量的萜烯类 (0.35%)、酸类 (0.25%)、烯烃类 (0.08%) 物质。提取物与芒果原浆和芒果渣分别有 26 种和 25 种共同的香气物质。提取物中萜烯类香气物质含量相对较低,可能是由于萜烯类物质中不饱和和双键 ($\text{C}=\text{C}$) 易受高温及氧化作用的影响,在蒸馏提取以及贮藏过程中损失或转化成酯类、醇类等物质,而酯类、醇类和醛类因其较稳定的化学结构得以富集于提取物中。欧泽洁等^[31]使用两种方法冷萃取啤酒花香气提取物,发现 SCC 法对醇类、酯类化合物的富集率较高,提取物橘香、果香明显。酚类在提取物含量最高,相对含量占 36.84%,其中具有酚醛气味的 2,4-二叔丁基酚含量为 $291.40 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 远高于芒果原浆和芒果渣。酯类物质在提取物中的种类和含量均高于芒果原浆和芒果渣,赋予其浓郁的果香味。作为芒果成熟香气的重要成分,酯类物质对芒果香气的形成贡献仅次于萜烯类^[32]。提取物中含有 9 种与芒果原浆共有的醇类物质,如对甲基苯异丙醇、顺-2-戊烯-1-醇和正辛醇,其含量均高于芒果原浆。提取物中的醛类、酮类香气物质种类、含量均比芒果原浆更丰富。芒果果肉风味的主要香气贡献成分及气味活性最强的化合物醛、酮类物质,如 β -紫罗兰酮、1-戊烯-3-酮、己醛、反式-2-己烯醛、壬醛等^[33],在提取物中含量均高于芒果原浆,使其香气更浓郁。另外,提取物中含有少量的酸类挥发性化合物,可能是蒸馏提取过程中酯类水解或醛、酮类物质氧化生成的。提取物与芒果肉、芒果渣挥发性成分差异主要在于萜烯类物质的明显减少,与酚类、酯类、醇类和醛类物质的增加,这些变化使提取物松香与部分芒果特征香气减弱,但花香、果香和草本香等香感提升,增强和丰富了整体香气。

2.1.2 小台农芒果果肉、果渣及 SCC 提取物的 OAV 香气评价分析

为了更清晰地了解芒果原浆、芒果渣及芒果渣提

取物的香气特征以及各挥发性成分对样品的香气贡献程度,对三者的 OAV 值进行对比分析。挥发性风味物质对食品总体风味的贡献由其浓度和阈值共同决定。芒果肉的主要成分是水,通过前人文献中各挥发性物质在水中阈值与研究中所各物质的定性定量结果,对样品 OAV 值进行计算, OAV 值结果如表 2 所示。

三种样品共筛选出 22 种 $\text{OAV} \geq 1$ 的重要风味成分,包括 7 种醛类、4 种萜烯类、4 种酯类、4 种醇类、2 种酮类、1 种芳香烃类挥发性物质。其中,三种样品共有的重要风味成分 3 种,壬醛、 β -紫罗酮、丁酸乙酯。

在芒果原浆 10 种 $\text{OAV} \geq 1$ 的重要风味成分中, p -伞花烃、(E)-2-庚烯醛、壬醛、(+)-3-萜烯、D-柠檬烯、异松油烯、 β -紫罗酮、丁酸乙酯等也在对青芒、台农、金煌芒、红玉、凯特、Ataulfo 等品种芒果的研究中被报道为关键香气成分^[34,35]。台农芒果为富含异松油烯型芒果^[36],其 OAV 值较高的成分通常为醛类、萜烯类等挥发性物质, γ -萜品烯、 p -伞花烃、反,顺-2,6-壬二烯醛、 β -紫罗兰酮等为台农芒果中常出现的 OAV 值较高的物质。在本研究中,小台农芒果浆 OAV 值较高的有 p -伞花烃、2-蒎烯、(+)-3-萜烯、异松油烯、 β -紫罗酮,这些物质为芒果原浆提供了较强的清香、松香和花果香。

在芒果渣 9 种 $\text{OAV} \geq 1$ 的重要风味成分都曾被报道为芒果的关键香气成分, OAV 值较高的芳樟醇、反,顺-2,6-壬二烯醛、(+)-3-萜烯、D-柠檬烯、异松油烯,形成了清香、花香、果香为主的香气。其中,反,顺-2,6-壬二烯醛、异松油烯与张劲^[37]研究中的在台农芒果中得出的关键香气物质相同。芒果渣中与芒果原浆共有重要香气成分 7 种,其中 p -伞花烃、壬醛(柑橘、绿色)、D-柠檬烯、丁酸乙酯(果香、甜香)这四种香气成分的 OAV 值高于芒果原浆,因此与芒果原浆相比,芒果渣的清新、柑橘气味更强,但萜烯类物质香气不如芒果原浆强烈。

在芒果渣提取物 14 种 $\text{OAV} \geq 1$ 的重要风味成分中, (E)-2-庚烯醛、 β -紫罗酮、乙酸乙酯、丁酸乙酯等 7 种也在前人研究中被报道为芒果中气味活性高的香气重要贡献者^[38]。(E)-2-庚烯醛、(2E,4E)-2,4-辛二烯醛、 β -紫罗酮、乙酸乙酯、丁酸乙酯的 OAV 值较高,果香与甜香较强。提取物中与芒果原浆共有重要香气成分有 (E)-2-庚烯醛、壬醛、 β -紫罗酮、丁酸乙酯 4 种,提取物中这四种香气物质的 OAV 值均高于芒果原浆。因此与芒果原浆相比,芒果渣提取物的花果香、清香香气更强。提取物中 $\text{OAV} \geq 1$ 的重要风味成分仍以醛、酮、酯类为主,若在调配时适当加入可与芒果浆香气形成互补,提升芒果浆香气品质。

表 2 芒果原浆、果渣、提取物、加水与加香调配芒果浆中的挥发性物质含量、OAV值及香气特征

Table 2 Volatile matter content, OAV value and aroma characteristics of mango pulp, pomace, extract, mango pulp prepared with water and mango pulp prepared with extract																		
序 号	化合物名称	CAS	保留时间/min		RI 值		含量/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)				感官 阈值 [13-18] ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	OAV			香气特征 [14,15,17,19,20]			
			程序 1	程序 2	文献 值	实验 值	芒果原浆	芒果渣	提取物	加水调配 芒果浆		加香调配 芒果浆	芒果 原浆	芒果渣		提取物	加水调配 芒果浆	加香调配 芒果浆
1	2-蒎烯	000080-56-8	8.62	8.41	1 020	1 018	3.68±0.37	0.10±0.01	—	2.90±0.13	2.10±0.37	0.12	30.65	0.83	24.17	17.50	新鲜、松、蒎类	
2	蒎烯	000079-92-5	9.75	9.34	1 065	1 061	0.07±0.00	—	—	0.10±0.01	0.15±0.02	—	—	—	—	—	樟脑	
3	2-萘烯	000554-61-0	11.71	10.93	1 146	1 130	—	1.70±0.11	—	0.10±0.00	0.15±0.00	4	—	0.43	0.03	0.04	—	
4	(+)-冰片烯	000464-17-5	10.77	10.18	—	1 100	0.14±0.02	—	—	0.15±0.01	0.20±0.02	—	—	—	—	—	—	
5	β -蒎烯	000127-91-3	10.66	10.21	—	1 096	0.15±0.02	—	—	0.10±0.01	0.15±0.01	140	0.00	—	0.00	0.00	干木香、树脂香、松香、 似松脂的味道	
6	(+)-4-萘烯	029050-33-7	11.38	10.68	—	1 120	3.42±0.27	17.90±1.33	—	2.25±0.15	2.50±0.35	—	—	—	—	—	—	
7	(+)-3-萘烯	000498-15-7	12.28	11.49	—	1 150	43.47±2.05	18.80±0.65	—	29.80±3.74	31.35±4.05	0.77	56.45	24.42	38.70	40.71	清新的刺鼻的蒎烯气 息、柠檬、甜	
8	α -水芹烯	000099-83-2	12.81	11.93	1 165	1 165	11.72±0.64	6.70±0.37	1.20±0.05	9.35±1.30	10.15±0.48	40	0.29	0.17	0.03	0.25	柑橘、柠檬、杜松	
9	月桂烯	000123-35-3	12.85	11.97	1 173	1 167	11.25±0.66	9.60±0.22	—	12.20±1.45	13.20±0.64	42	0.27	0.23	0.29	0.31	树脂香、蒎烯香、 青香味、药草味和 柑橘味	
10	α -蒎品烯	000099-86-5	13.31	12.41	1 183	1 182	34.65±1.54	—	—	28.90±3.91	38.80±1.09	—	—	—	—	—	柠檬	
11	D-柠檬烯	005989-27-5	13.74	12.73	—	1 195	19.49±0.86	166.60±6.56	—	20.95±1.03	13.10±2.40	10	1.95	16.66	2.10	1.31	柑橘、柠檬、绿色	
12	柠檬烯	000138-86-3	—	12.83	1 197	1 200	—	—	0.20±0.01	—	—	220	—	—	0.00	—	烷烃气息、柑橘香 和松香	
13	β -水芹烯	000555-10-2	14.29	13.25	1 217	1 212	14.89±0.73	6.30±0.44	1.40±0.05	9.95±1.92	7.85±1.49	36	0.41	0.18	0.04	0.28	0.22	草本、蒎类、甘草
14	(E)- β -罗勒烯	003779-61-1	15.08	13.77	1 238	1 236	2.31±0.10	2.40±0.09	—	2.50±0.19	3.00±0.35	67	0.03	0.04	—	0.04	0.04	甜、香草
15	蒎品烯	000099-85-4	15.36	14.05	1 253	1 244	3.91±0.23	2.50±0.03	—	2.35±0.45	3.55±0.11	214	0.02	0.01	—	0.01	0.02	柑橘、草本、蒎类
16	罗勒烯	013877-91-3	15.52	14.22	—	1 249	3.24±0.16	2.30±0.15	—	1.10±0.34	3.15±0.25	34	0.10	0.07	—	0.03	0.09	柑橘、草本
17	异松油烯	000586-62-9	17.06	15.36	1 290	1 295	526.64±19.29	399.70±13.85	—	342.65±16.16	363.05±2.37	41	12.84	9.75	8.36	8.85	甜香、松香、微有茴香、 有悦人的气息	
18	p-薄荷三烯	018368-95-1	20.52	18.37	—	1 400	4.91±0.04	2.80±0.11	—	2.60±0.27	2.70±0.20	39.3	0.13	0.07	0.07	0.07	松节油	
19	5-异丙基-2-甲 基-1,3-环己二烯	021195-59-5	21.63	19.15	—	1 434	4.34±0.14	—	—	1.90±0.12	2.40±0.24	—	—	—	—	—	—	
20	衣兰烯	014912-44-8	23.53	20.91	1 493	1 493	0.39±0.11	—	—	0.10±0.02	—	—	—	—	—	—	—	
21	α -蒎烯	1000360-33-0	23.83	21.11	—	1 502	0.34±0.05	—	—	0.90±0.06	—	—	—	—	—	—	树脂香、松香、松脂味	
22	(-)-ALPHA-蒎烯	003856-25-5	23.79	—	1 502	1 502	—	1.10±0.06	—	—	—	2	—	0.55	—	—	木香、辛香	
23	(-)-alpha-古芸烯	000489-40-7	24.86	—	1 538	1 538	0.39±0.06	0.10±0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	木质、香脂	
24	(-)-异丁香烯	000118-65-0	26.41	—	1 596	1 592	—	0.10±0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	木质	

续表2

序 号	化合物名称	CAS	保留时间/min		RI 值		含量/(μg·kg ⁻¹)			感官 阈值 [13-18] (μg·kg ⁻¹)	OAV			香气特征 [14,15,17,19,20]				
			程序 1	程序 2	文献 值	实验 值	芒果原浆	芒果渣	提取物		加水调配 芒果浆	加香调配 芒果浆	芒果 原浆		芒果渣 提取物	加水调配 芒果浆	加香调配 芒果浆	
25	(1S, 5S, 6R)-2,6-二 甲基-6-(4-甲 基-3-烯-1-基) 双 环[3.1.1]庚-2-烯	013474-59-4	26.47	—	1 595	1 594	—	0.10±0.01	—	—	—	—	—	—	—	—		
26	石竹烯	000087-44-5	27.01	23.84	1 618	1 617	0.26±0.07	1.90±0.07	—	0.25±0.04	0.65±0.03	64	0.00	0.03	0.00	0.01	蕨类植物、绿色植物、 丁香	
27	香树烯	025246-27-9	28.01	25.03	1 660	1 663	0.58±0.10	0.10±0.02	—	0.15±0.01	0.10±0.03	—	—	—	—	—	木质	
28	α-石竹烯	006753-98-6	28.54	25.51	1 690	1 687	0.89±0.04	0.80±0.04	—	0.30±0.02	0.30±0.02	160	0.01	0.01	0.00	0.00	绿色，草本	
29	丙位依兰油烯	030021-74-0	28.86	25.86	1 706	1 702	0.96±0.05	0.70±0.08	—	0.40±0.03	1.05±0.03	—	—	—	—	—	草药，木材，香料	
30	(+)-δ-亚麻烯	028624-28-4	—	25.96	—	1 705	—	—	—	0.10±0.01	—	—	—	—	—	—	—	
31	(+)-喇叭烯	021747-46-6	28.99	26.05	1 708	1 709	0.16±0.03	0.10±0.01	—	0.10±0.03	—	—	—	—	—	—	—	
32	B-马鞭烯	000489-29-2	—	26.25	—	1 718	—	—	—	—	0.05±0.01	—	—	—	—	—	—	
33	γ-甲啡烯	006980-46-7	—	26.70	—	1 737	—	—	—	0.10±0.02	—	—	—	—	—	—	—	
34	α-衣兰油烯	010208-80-7	29.54	—	1 738	1 738	0.15±0.04	0.50±0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	木质	
35	1,2,4a,5,6,8a-六 氢-4,7-二甲基-1- (1-甲基乙基) 萘	031983-22-9	—	26.87	—	1 744	—	—	—	0.20±0.04	—	—	—	—	—	—	—	
36	Δ-杜松烯	000483-76-1	30.12	27.49	1 772	1 770	1.03±0.15	0.70±0.04	—	0.80±0.03	0.75±0.04	—	—	—	—	—	百里香，药物，木材	
37	γ-杜松烯	039029-41-9	30.21	27.61	1 776	1 775	1.04±0.16	0.30±0.02	—	0.25±0.02	0.30±0.03	—	—	—	—	—	木质	
38	反式卡拉美烯	073209-42-4	31.46	29.25	1 850	1 846	—	0.20±0.01	—	0.15±0.05	0.05±0.02	—	—	—	—	—	—	
39	乙醇	000064-17-5	6.76	6.63	930	925	11.63±0.40	26.00±1.08	60.80±1.86	15.05±2.07	12.40±0.39	100000	0.00	0.00	0.00	0.00	酒精味	
40	异丁醇	000078-83-1	—	10.02	1 097	1 092	—	—	0.40±0.02	—	—	8000	—	—	0.00	—	酒，溶剂，苦	
41	正丁醇	000071-36-3	—	11.48	1 147	1 148	—	—	4.20±0.01	—	—	2730	—	—	0.00	—	药物，水果	
42	异戊醇	000123-51-3	—	13.10	1 210	1 209	—	—	8.00±0.03	—	—	300	—	—	0.03	—	威士忌，麦芽，烧焦	
43	2-庚醇	000543-49-7	—	16.10	—	1 318	—	—	0.40±0.02	—	—	100	—	—	0.00	—	蘑菇	
44	顺-2-戊烯-1-醇	001576-95-0	17.96	16.22	—	1 323	0.74±0.03	1.80±0.04	3.20±0.07	0.35±0.02	1.20±0.03	720	0.00	0.00	0.00	0.00	绿色，塑料，橡胶	
45	正己醇	000111-27-3	18.94	17.10	1 356	1 352	0.23±0.01	0.10±0.01	12.80±0.05	—	0.50±0.01	5.6	0.04	0.02	2.29	—	0.09	树脂，花，绿色

续表2

序 号	化合物名称	CAS	保留时间/min		RI 值		含量/(μg·kg ⁻¹)				感官 阈值 [13-18] (μg·kg ⁻¹)		OAV			香气特征[14][15][17][19,20]		
			程序 1	程序 2	文献 值	实验 值	芒果原浆	芒果渣	提取物	加水调配 芒果浆	加水调配 芒果浆	芒果 原浆	芒果渣 提取物	加水调配 芒果浆	加水调配 芒果浆			
46	(E)-3-己烯-1-醇	000928-97-2	20.04	17.97	1 379	1 385	3.20±0.02	0.50±0.01	7.80±0.03	3.45±0.04	3.60±0.06	110	0.03	0.00	0.07	0.03	0.03	苔藓、新鲜的
47	反式-2-己烯-1-醇	000928-95-0	—	18.54	—	1 409	—	—	8.80±0.02	—	—	232	—	—	0.04	—	—	绿色，叶子，核桃
48	庚醇	000111-70-6	—	19.80	1 457	1 457	—	—	2.40±0.02	—	—	3	—	—	0.80	—	—	化学、绿色
49	2-乙基己醇	000104-76-7	23.40	20.68	1 493	1 489	0.24±0.04	—	9.00±0.03	0.20±0.01	0.40±0.01	—	—	—	—	—	—	玫瑰、绿色
50	2-壬醇	000628-99-9	—	21.42	1 521	1 520	—	—	1.40±0.02	—	—	58	—	—	0.02	—	—	黄瓜
51	芳樟醇	000078-70-6	25.29	—	1 553	1 553	—	4.00±0.08	—	—	—	0.22	—	18.18	—	—	—	花香，木香，微弱的 柑橘香；花甜香味
52	正辛醇	000111-87-5	25.48	22.43	1 558	1 560	1.37±0.02	2.60±0.05	19.20±0.68	0.80±0.04	2.25±0.08	110	0.01	0.02	0.17	0.01	0.02	橘子香，玫瑰香、蜡香， 甜香；药草味、柑橘 味和油味
53	异蒲勒醇	000089-79-2	26.06	—	1 572	1 580	—	1.10±0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
54	(1R, 2R, 5R)- 2-异丙烯基-5-甲 基环己醇	021290-09-5	26.20	—	—	1 585	—	2.30±0.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
55	环辛醇	000696-71-9	—	23.82	—	1 616	—	—	1.60±0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—
56	1-壬醇	000143-08-8	28.02	24.90	1 661	1 661	—	0.70±0.02	2.40±0.03	—	—	2	—	0.35	1.20	—	—	脂肪、绿色
57	顺-3-壬烯-1-醇	010340-23-5	—	25.58	—	1 689	—	—	1.80±0.03	0.10±0.02	0.30±0.01	—	—	—	—	—	—	—
58	α-松油醇	000098-55-5	28.96	—	1 710	1 707	—	0.70±0.06	—	—	—	300	—	0.00	—	—	—	甜香，铃兰花香，白 柠檬香
59	(Z)-6-壬烯-1-醇	035854-86-5	—	26.37	—	1 722	—	—	—	—	0.05±0.02	—	—	—	—	—	—	—
60	3,6-亚壬基-1-醇	056805-23-3	29.80	27.08	1 756	1 753	1.69±0.25	—	3.60±0.03	1.35±0.06	1.45±0.25	3	0.56	—	1.20	0.45	0.48	鱼
61	1-癸醇	000112-30-1	29.99	27.32	1 764	1 763	—	1.80±0.06	6.60±0.24	0.10±0.02	0.35±0.06	23	—	0.08	0.29	0.00	0.02	脂肪
62	香茅醇	000106-22-9	30.07	—	1 766	1 768	—	20.20±0.45	—	—	—	100	—	0.20	—	—	—	玫瑰
63	(4Z)-4-十二碳 烯-1-醇	040642-37-3	—	27.91	—	1 789	—	—	2.60±0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
64	(2Z)-3,7-二甲 基-2,6-辛二 烯-1-醇	000106-25-2	30.69	—	1 807	1 802	—	3.80±0.07	—	—	—	80	—	0.05	—	—	—	甜香
65	橙花醇	001197-06-4	31.31	—	1 861	1 839	—	0.40±0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
66	香叶醇	000106-24-1	31.39	29.33	1 850	1 844	0.62±0.09	3.00±0.06	—	0.20±0.04	0.75±0.06	75	0.01	0.04	—	0.00	0.01	强烈的似柠檬的香味
67	对甲基苯异丙醇	001197-01-9	31.45	29.36	1 847	1 847	5.33±0.12	1.90±0.07	14.20±0.09	1.00±0.09	1.80±0.08	—	—	—	—	—	—	柑橘
68	桉醇	000472-07-1	—	34.21	—	2 048	—	—	4.20±0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
69	喇吡茶醇	000577-27-5	—	34.38	2 057	2 055	—	—	0.60±0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70	对异丙基苯甲醇	000536-60-7	—	34.77	—	2 070	—	—	0.80±0.00	—	—	—	—	—	—	—	—	木质、草本

续表2

序 号	化合物名称	CAS	保留时间/min		RI 值		含量/(μg·kg ⁻¹)				感官 阈值 [13-18] (μg·kg ⁻¹)	OAV				香气特征 ^{[14,15], [17,19,20]}		
			程序 1	程序 2	文献 值	实验 值	芒果原浆	芒果渣	提取物	加水调配 芒果浆		加香调配 芒果浆	芒果 原浆	芒果渣	提取物		加水调配 芒果浆	加香调配 芒果浆
71	己醛	000066-25-1	10.35	9.83	1 084	1 084	—	1.80±0.04	1.00±0.00	0.10±0.00	0.40±0.00	5	—	0.36	0.20	0.02	0.08	草本、绿色
72	反式-2-戊烯醛	001576-87-0	—	11.22	1 134	1 139	—	—	2.80±0.07	—	—	100	—	—	0.03	—	—	草莓、水果、番茄
73	庚醛	000111-71-7	13.40	12.51	1 187	1 185	0.15±0.02	0.30±0.05	—	—	0.15±0.03	31	0.00	0.01	—	—	0.00	柑橘、绿色
74	反式-2-己烯醛	006728-26-3	14.74	13.58	1 231	1 226	2.30±0.07	2.70±0.09	37.20±0.26	3.45±0.20	5.25±0.36	110	0.02	0.02	0.34	0.03	0.05	绿色、新鲜、果味
75	正辛醛	000124-13-0	17.15	—	1 298	1 300	—	0.40±0.07	—	—	—	7	—	0.06	—	—	—	脂肪香、水果香；橘 子和柑橘的甜味，脂 肪味
76	(E)-2-庚烯醛	018829-55-5	18.35	16.58	1 336	1 336	0.11±0.02	—	2.40±0.02	—	0.50±0.02	0.051	2.21	—	47.06	—	9.80	脂肪味、果味
77	壬醛	000124-19-6	20.12	18.39	1 403	1 403	1.67±0.04	3.40±0.07	3.40±0.03	0.70±0.15	1.45±0.06	1	1.67	3.40	3.40	0.70	1.45	柑橘、绿色
78	(E,E)-2,4-己二烯醛	000142-83-6	21.08	18.66	1 411	1 414	—	0.20±0.01	1.20±0.01	0.10±0.01	—	—	—	—	—	—	—	—
79	(E)-2,4-庚二烯醛	004313-03-5	—	20.41	—	1 480	—	—	5.20±0.12	—	0.45±0.07	15.4	—	—	0.34	—	0.03	坚果、脂肪
80	香茅醛	000106-23-0	20.68	—	1 488	1 489	—	3.30±0.08	—	—	—	6	—	0.55	—	—	—	脂肪
81	顺-3,顺-6-壬二烯醛	021944-83-2	—	21.66	—	1 529	—	—	—	—	0.45±0.09	5	—	—	—	—	0.09	脂肪、香皂
82	(E)-(3,3-二甲基环己亚基)-乙醛	026532-25-2	24.82	21.91	—	1 539	0.34±0.05	—	—	—	0.50±0.00	—	—	—	—	—	—	—
83	癸醛	000112-31-2	24.05	—	1 510	1 510	—	1.00±0.03	—	—	—	5	—	0.20	—	—	—	柑橘、绿色、柔软
84	苯甲醛	000100-52-7	22.12	22.10	1 546	1 547	0.18±0.05	0.30±0.01	0.60±0.02	—	0.25±0.02	3.5	0.05	0.09	0.17	—	0.07	苦杏仁
85	(Z)-2-壬烯醛	060784-31-8	—	22.16	—	1 549	—	—	5.20±0.08	—	—	1	—	—	5.20	—	—	黄爪、绿色、甜瓜
86	反,顺-2,6-壬二烯醛	000557-48-2	22.43	—	—	1 600	—	2.10±0.07	—	—	—	0.1	—	21.00	—	—	—	黄爪味
87	反-2,6-壬二醛	017587-33-6	26.67	23.46	—	1 601	12.31±0.12	—	—	11.05±0.39	16.05±0.40	5	2.46	—	—	2.21	3.21	青香、黄爪皮
88	(2E,4E)-2,4-壬二烯醛	030361-28-5	—	23.57	1 599	1 606	—	—	9.00±0.58	—	0.20±0.04	0.14	—	—	64.29	—	1.43	绿色、海藻、黄爪
89	β-环柠檬醛	000432-25-7	27.56	24.43	1 638	1 641	0.27±0.04	0.50±0.03	2.60±0.02	0.25±0.01	0.55±0.02	3	0.09	0.17	0.87	0.08	0.18	薄荷
90	(Z)-3,7-二甲基-2,6-壬二烯醛	000106-26-3	28.73	—	1 694	1 695	—	8.20±0.22	—	—	—	53	—	—	—	—	—	柠檬
91	柠檬醛	005392-40-5	29.69	—	—	1 747	—	10.60±0.40	—	—	—	30	—	0.35	—	—	—	柠檬
92	2,4-癸二烯醛	002363-88-4	—	27.71	—	1 780	—	—	0.60±0.01	—	—	0.07	—	—	8.57	—	—	—

续表2

序 号	化合物名称	CAS	保留时间/min		RI 值		含量/(μg·kg ⁻¹)				感官 阈值 [13-18] (μg·kg ⁻¹)	OAV			香气特征 [14,15,17,19,20]			
			程序 1	程序 2	文献 值	实验 值	芒果原浆	芒果渣	提取物	加水调配 芒果浆		加香调配 芒果浆	芒果 原浆	芒果渣		提取物	加水调配 芒果浆	加香调配 芒果浆
93	乙酸乙酯	000141-78-6	—	5.99	878	878	—	—	43.40±0.25	—	1.35±0.05	5	—	—	8.68	—	0.27	果味、甜味
94	丁酸乙酯	000105-54-4	9.22	8.75	1 037	1 037	1.43±0.04	1.90±0.01	58.60±0.12	0.40±0.05	2.10±0.08	0.9	1.58	2.11	65.11	0.44	2.33	果味、甜味
95	乙酸丁酯	000123-86-4	—	9.58	1 075	1 073	—	—	2.20±0.02	—	—	100	—	—	0.02	—	—	草味、果味
96	乙酸异戊酯	000123-92-2	—	10.85	1 129	1 125	—	—	3.40±0.08	—	—	2	—	—	1.70	—	—	香蕉味
97	巴豆酸乙酯	006776-19-8	12.87	12.06	—	1171	0.52±0.08	—	78.00±0.42	—	2.45±0.43	—	—	—	—	—	—	—
98	丁酸丁酯	000109-21-7	—	13.40	—	1 220	—	—	0.40±0.03	—	—	28	—	—	0.01	—	—	—
99	己酸乙酯	000123-66-0	15.16	13.90	1 241	1 239	0.07±0.02	—	6.80±0.26	—	—	2.2	0.03	—	3.09	—	—	果味、苹果味
100	乙酸乙酯	000142-92-7	—	14.99	1 277	1 279	—	—	1.20±0.05	—	—	100	—	—	0.01	—	—	水果、香草
101	乙酸叶醇酯	003681-71-8	—	16.24	1 326	1 324	—	—	—	0.10±0.03	—	—	—	—	—	—	—	绿色、香蕉味
102	巴豆酸丁酯	007299-91-4	—	17.31	—	1 363	—	—	2.20±0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
103	二氯乙酸乙酯	000535-15-9	—	18.20	—	1 396	—	—	1.40±0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—
104	(E)-2-甲基-2-丁 酸丁酯	007785-66-2	—	19.18	—	1 433	—	—	0.20±0.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
105	辛酸乙酯	000106-32-1	21.85	19.42	1 442	1 443	0.68±0.19	2.90±0.14	2.20±0.00	—	0.15±0.04	19.3	0.04	0.15	0.11	—	0.01	水果、脂肪味
106	3-羧基丁酸乙酯	005405-41-4	—	21.63	1 521	1 528	—	—	0.60±0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	棉花糖
107	癸酸乙酯	000110-38-3	27.64	—	1 645	1 645	0.15±0.02	0.30±0.01	—	—	—	122	0.00	0.00	—	—	—	水果味
108	—	1000373-74-1	28.27	25.29	—	1 675	0.88±0.04	—	—	0.40±0.02	0.55±0.00	—	—	—	—	—	—	—
109	丙位己内酯	000695-06-7	29.28	26.51	1 726	1 724	0.22±0.06	—	—	0.30±0.00	0.45±0.01	260	0.00	—	—	0.00	0.00	干草味、甜味
110	乙酸橙花酯	000141-12-8	29.44	—	1 733	1 733	—	0.50±0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	水果味
111	乙酸苯乙酯	000103-45-7	—	28.91	1 827	1 831	—	—	1.00±0.01	—	—	20	—	—	0.05	—	—	玫瑰、蜂蜜、烟草
112	丙位辛内酯	000104-50-7	—	31.37	—	1 934	—	—	0.15±0.00	0.20±0.01	—	140	—	—	—	0.00	0.00	椰子
113	4-(1-甲基乙基) 苯甲醇乙酸酯	059230-57-8	—	32.10	—	1 964	—	—	0.20±0.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—

续表2

序 号	化合物名称	CAS	保留时间/min		RI 值		含量/(μg·kg ⁻¹)				感官 阈值 [13-18] (μg·kg ⁻¹)	OAV				香气特征 [14,15,17,19,20]		
			程序 1	程序 2	文献 值	实验 值	芒果原浆	芒果渣	提取物	加水调配 芒果浆		加香调配 芒果浆	芒果 原浆	芒果渣	提取物		加水调配 芒果浆	加香调配 芒果浆
114	2-戊酮	000107-87-9	—	7.51	975	976	—	—	3.00±0.02	—	—	2300	—	—	0.00	—	—	果味、苹果味
115	1-戊烯-3-酮	001629-58-9	8.81	8.46	—	1 024	0.77±0.22	2.50±0.05	2.40±0.00	—	—	12000	0.00	0.00	0.00	—	—	蘑菇状香气
116	4-庚酮	000123-19-3	—	10.92	—	1 128	—	—	1.80±0.04	—	—	910000	—	—	0.00	—	—	—
117	2-庚酮	000110-43-0	—	12.53	1 189	1 188	—	—	5.00±0.04	—	—	141	—	—	0.04	—	—	肥皂
118	3-羟基-2-丁酮	000513-86-0	—	15.60	1 299	1 300	—	—	4.20±0.02	—	—	10000	—	—	0.00	—	—	黄油、奶油
119	2,2,6-三甲基 环己酮	002408-37-9	—	16.47	—	1 332	—	—	0.40±0.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120	甲基庚烯酮	000110-93-0	18.67	16.87	1 346	1 347	0.42±0.02	1.10±0.01	0.60±0.00	0.05±0.02	—	50	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	胡椒、蘑菇、橡胶
121	2-壬酮	000821-55-6	—	18.25	1 392	1 398	—	—	5.40±0.04	—	—	5	—	—	1.08	—	—	热牛奶、肥皂、绿色
122	4-乙酰基-1-甲 基-环己烯	006090-09-1	25.84	—	1 568	1 573	—	0.10±0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
123	(E)-2-甲基-5- (1-甲基乙烯基) 环己酮	005948-04-9	27.69	—	1 645	1 649	—	0.40±0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
124	3-异丙基-6-甲 基-2-环己烯-1-酮	000499-74-1	—	26.79	1 737	1 739	—	—	0.80±0.02	—	0.35±0.02	—	—	—	—	—	—	—
125	胡椒酮	000089-81-6	—	27.07	1 748	1 753	—	—	0.20±0.02	—	—	680	—	—	0.00	—	—	薄荷、清新
126	(1R)-3,7,7-三甲基双 环[4.1.0]庚-3- 烯-2-酮	053585-45-8	—	27.56	—	1 774	—	—	0.40±0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
127	对甲基苯乙酮	000122-00-9	30.62	28.13	1 797	1 798	1.41±0.06	0.50±0.03	4.00±0.03	0.30±0.03	0.55±0.09	15.6	0.09	0.03	0.26	0.02	0.04	苦杏仁
128	香叶基丙酮	003796-70-1	31.60	29.57	1 867	1 857	0.71±0.03	—	—	0.10±0.03	0.20±0.03	60	0.01	—	—	0.00	0.00	玉兰、绿色
129	β-紫罗酮	000079-77-6	33.89	31.60	1 947	1 943	0.94±0.03	0.50±0.02	2.20±0.01	0.25±0.03	0.50±0.02	0.09	10.49	5.56	24.44	2.78	5.56	紫罗兰、覆盆子

续表2

序 号	化合物名称	CAS	保留时间/min		RI 值		含量(μg·kg ⁻¹)			感官 阈值 [13-18] (μg·kg ⁻¹)		OAV			香气特征 [14,15,17,19,20]			
			程序 1	程序 2	文献 值	实验 值	芒果原浆	芒果渣	提取物	加水调配 芒果浆	加香调配 芒果浆	芒果 原浆	芒果渣 提取物	加水调配 芒果浆		加香调配 芒果浆		
130	5-异丙烯基-1-甲 基环己烯	013898-73-2	13.62	12.63	—	1 192	0.69±0.08	—	—	0.45±0.08	0.50±0.02	—	—	—	—	—		
131	苯 乙 烯	000100-42-5	16.07	15.65	1 267	1 266	0.10±0.02	—	—	0.05±0.01	0.20±0.01	65	0.00	—	0.00	0.00		
132	4-甲基-1-(1-甲基 乙烯基)环己烯	000586-67-4	16.25	—	—	1 271	—	0.30±0.02	—	—	—	—	—	—	—	—		
133	3-异亚丙基-6-乙 基环己烯	000586-63-0	—	16.88	—	1 348	—	—	—	0.10±0.03	—	—	—	—	—	—		
134	(4E,6Z)-2,6-二甲 基-2,4,6-辛三烯	007216-56-0	19.96	17.84	—	1 383	0.13±0.01	0.20±0.01	—	0.20±0.01	0.25±0.01	—	—	—	—	—		
135	(3E)-3-乙基-2-甲 基-1,3-己二烯	061142-36-7	—	19.22	—	1 435	—	—	0.60±0.00	—	—	—	—	—	—	—		
136	—	150320-52-8	27.85	24.79	—	1 657	0.04±0.01	—	—	—	0.10±0.02	—	—	—	—	—		
137	(6E)-2,6-二甲 基-2,6-辛二烯	002792-39-4	28.20	—	—	1 672	—	0.30±0.01	—	—	—	—	—	—	—	—		
138	7,7-二甲基-2-甲基 烯双环[2.2.1]丙烷	000471-84-1	9.55	9.16	1 054	1 054	0.13±0.00	—	—	0.15±0.01	0.35±0.02	—	—	—	—	—		
139	1-异丙基-4-甲基 烯双环[3.1.0]己烷	003387-41-5	—	12.92	—	1 203	—	—	—	—	0.30±0.10	—	—	—	—	胡椒, 松节油, 木头		
140	1-异丙基-4,7-二甲 苯-1,2,3,4,5,6-己脱 氢萘	016729-00-3	27.84	24.88	—	1 655	0.29±0.02	—	—	0.10±0.01	—	—	—	—	—	—		
141	环庚烷	000291-64-5	—	24.90	—	1 661	—	—	—	—	0.25±0.01	—	—	—	—	—		
142	—	041977-47-3	—	27.91	—	1 789	—	—	—	—	0.15±0.01	—	—	—	—	—		
其他																		
143	p-伞花烃	000099-87-6	16.29	14.85	1 274	1 273	20.66±0.35	35.50±1.90	0.80±0.06	16.90±2.94	27.45±1.35	5	4.13	7.10	0.16	3.38	5.49	柑橘, 绿色
144	2,4-二甲基苯乙烯	001195-32-0	22.19	19.66	1 452	1 452	33.30±0.30	23.20±1.17	14.20±0.09	23.95±1.29	31.20±1.18	—	—	—	—	—	—	柑橘, 松果
145	间异丙基甲苯	000535-77-3	—	29.25	—	1 846	—	—	—	—	0.05±0.03	—	—	—	—	—	—	—
147	4-甲基苯酚	000106-44-5	—	34.75	—	2 072	—	—	—	—	0.10±0.00	2 000	—	—	—	0.00	0.00	药、酚、烟雾
148	香芹酚	000499-75-2	—	36.86	—	2 151	—	—	0.80±0.01	—	—	1 000	—	0.00	—	—	—	—
149	2,4-二叔丁基酚	000096-76-4	37.45	38.64	—	2 219	19.40±0.90	15.80±0.77	291.40±1.56	29.40±0.14	28.55±2.48	—	—	—	—	—	—	酚醛气味
150	2-甲基咪喃	000534-22-5	—	6.11	894	890	—	—	—	0.05±0.00	—	8 200	—	—	—	0.00	—	—
其他																		
151	(2R,5S)-5-异丙烯 基-1,2-甲基-2-乙烯 基四氢咪喃	054750-69-5	—	14.17	—	1 249	—	—	1.00±0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
152	—	020992-69-2	—	15.71	—	1 304	—	—	—	—	0.25±0.05	—	—	—	—	—	—	—
153	异丙烯基甲苯	007399-49-7	—	19.78	—	1 456	—	—	—	—	12.60±4.28	—	—	—	—	—	—	—
154	八(乙二醇)一 (十二烷基)酞	003055-98-9	34.94	34.68	—	2 055	1.27±0.18	—	—	—	1.27±0.18	—	—	—	—	—	—	—
155	丁酸	000107-92-6	—	—	1 639	1 638	—	—	2.00±0.01	—	—	2.4	—	—	0.83	—	—	奶酪

注: 一表示未查找到或未检出。

2.1.3 感官嗅闻强度评价

为对比芒果原浆与芒果渣提取物的香气强度，分别对两者进行梯度稀释后由感官评价员进行嗅闻。结果表明，感官评价员能够区分出两种样品的香气，超过一半的评价员能在最大稀释倍数 80 时感知到芒果原浆的香气，而提取物最大稀释倍数为 160。这表明提取物的香气嗅闻感知强度较大，约为芒果原浆强度的两倍。另外，在实验中感官评价员表示未稀释或低倍数稀释的芒果渣提取物具有明显的果皮清香，且在高倍数稀释后，香气变得更为柔和，带有淡淡的甜香；芒果原浆在稀释度较低时香气减弱但气味仍与果肉一致，在稀释度较高时清香较其他香型更明显。这可能归因于其中某些醛、酮类嗅闻阈值较低，在较低浓度时就能被感官评价员感知。

2.2 芒果渣提取物的增香应用评价

2.2.1 感官评价分析

对不同提取物添加量的四种调配芒果浆样品从嗅闻香气强度、香气平衡协调感、吞咽鼻后感、异味方面进行了评价，结果如表 3 所示。添加体积分数为 5%~15% 提取物的调配芒果浆与空白对照组相比，香气协调与平衡方面差异不显著 ($P>0.05$)。在体积添加量为 5% 时，香气强度轻微增加，且评价员未感知到异味。在 10% 时，调配芒果浆的香气强度、吞咽鼻后感效果最好，表现为香气浓郁，果香与清香增强，气味协调，鼻后感明显增强且无异味。然而，15% 体积添加量时，虽然香气仍可接受，但异味明显增加，若进一步增加添加量，将影响整体香气品质。根据感官评分，选择 10% 作为调配芒果浆的最适添加量，这一比例下的芒果浆香气强度和协调性最佳，且无异味，并以该添加量的调配芒果浆进一步进行 GC-MS 的研究。

表 3 感官评分结果

Table 3 Sensory scoring results

样品组别	嗅闻香气强度	香气协调平衡	吞咽鼻后感强度	异味
A(0%)	5.00±0.00 ^b	8.67±1.19 ^a	5.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b
B(5%)	5.47±1.09 ^b	8.72±1.27 ^a	5.56±1.10 ^{ab}	0.00±0.00 ^b
C(10%)	5.81±1.32 ^{ab}	8.50±1.20 ^a	5.94±1.35 ^a	0.06±0.24 ^b
D(15%)	6.64±1.49 ^a	7.72±1.67 ^a	5.78±1.22 ^{ab}	0.72±1.07 ^a

注：同一列小写字母不同表示显著性差异 $P<0.05$ 。

2.2.2 调配芒果浆香气对比分析

采用 HS-SPME-GC-MS 对加水调配的芒果浆和 10% 加香调配的芒果浆中的挥发性香气物质进行测定，以分析对比加香果浆的香气水平，结果见表 2。加水

调配芒果浆与加香调配芒果浆共检测出 89 种挥发性物质，主要包括萜烯类（32 种）、醛类（13 种）、醇类（12 种）、酯类（8 种）等，两者共有挥发性化合物 54 种，香气物质含量及组成见图 3。加水调配芒果浆共检出挥发性香气物质 66 种，总含量为 585.30 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，而加香调配芒果浆共检出挥发性香气物质 77 种，总含量为 667.20 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，高于加水调配芒果浆，主要差异在于酯类、醛类、醇类及芳香烃类物质的增加。其中，可提供芒果特征香气的乙酸乙酯（甜果香）、丁酸乙酯（甜果香）、反式-2-己烯醛（清香、新鲜、果香）、 β -环柠檬醛（薄荷）、 β -紫罗酮（紫罗兰、覆盆子）等挥发性香气物质在加香调配芒果浆中的含量均有明显增加，甜果香、清香、花香感增强，提升了芒果浆的香气品质。

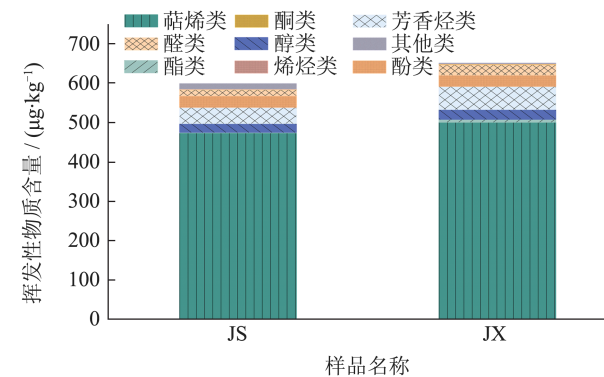


图 3 加水与加香调配芒果浆的挥发性物质组成堆叠图

Fig.3 Stack diagram of volatile substance composition of mango pulp prepared with water and mango pulp prepared with extract

加水调配芒果浆与加香调配芒果浆共筛选出 11 种 $\text{OAV}\geq 1$ 的重要风味成分，包括 4 种萜烯类、4 种醛类、1 种酯类、1 种酮类、1 种芳香烃类挥发性物质，两者共有的 7 种重要风味成分有 (+)-3-萜烯、2-萜烯、异松油烯、 β -紫罗酮等。加水调配芒果浆中的 7 种重要风味成分，呈现松香、青香与花果香。加香调配芒果浆中共 11 种重要风味成分，除了与加水调配芒果浆共有的 7 种外，还包括 (E)-2-庚烯醛、壬醛、(2E,4E)-2,4-辛二烯醛、丁酸乙酯，丰富了其中的清香、甜香，同时 (E)-2-庚烯醛、丁酸乙酯为曾被报道为芒果关键香气成分。加香调配芒果浆与芒果原浆有 10 种共有重要风味成分，提取物添加带来的 (2E,4E)-2,4-辛二烯醛引入了绿色黄瓜气味。与项攀^[39]研究中台农芒果的重要风味成分相比，物质基本重合但少量较少。除 2-萜烯外，加香调配芒果浆重要风味成分的 OAV 值均高于加水调配芒果浆，果香、青香和花香也更强。因此，提取物的加入可补充醛酮类、酯类重要风味成分，增强芒果特征气味，提升芒果浆香气品质。

更为清晰地比较加水、加香调配芒果浆与芒果原

浆之间的香气相似度,以芒果原浆为参比计算了三者的相似度。加水调配芒果浆与芒果原浆共有峰 54 个,相似度为 0.980,而加香调配使果浆与芒果原浆共有峰增加至 56 个,相似度提升至 0.996。这一相似度高于同样计算方法下王学娟等^[40]研究中桂皮油与桂枝油的相似度(0.906)。芒果渣提取物的添加提高了香气相似度,改善了因稀释导致的香气差异,使加香调配芒果浆的香气更接近芒果原浆。

3 结论

本研究采用气相色谱-质谱联用技术及嗅闻感官评价,对“台农 1 号”芒果小果果肉、芒果渣、芒果渣提取物的挥发性物质组成、香气特征及强度水平进行了评价,并探究了芒果渣提取物在芒果浆中的应用效果。“台农 1 号”果肉的香气物质总含量 $821.06 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,共检测出 67 种挥发性成分,主要由萜烯类、芳香烃类、醇类、酚类、醛类物质组成;芒果渣的香气物质总含量为 $835.80 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,共检测出 71 种挥发性成分,主要由萜烯类、醇类、芳香烃类、醛类、酚类物质组成;提取物的香气物质总含量为 $793.8 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,与芒果原浆共有的香气物质共 26 种,其挥发性物质主要由酯类、醇类和酚类组成,与芒果原浆香气有一定的互补性;丁酸乙酯、(2E,4E)-2,4-辛二烯醛、(E)-2-庚烯醛、 β -紫罗兰酮等 14 种挥发性物质为提取物的重要香气成分;感官嗅闻强度评价结果显示,提取物的香气嗅闻感知强度约为芒果原浆强度的两倍。将四个比例的提取物添加于芒果浆中,通过嗅闻感官评分,确定了果浆调配最佳提取物体积分数添加量为 10%,提取物添加使得调配芒果浆挥发性香气物质种类数量更丰富,重要风味成分增多,且 OAV 值提升,整体香气与芒果原浆更相似。通过提取并回添天然香气物质的方法,可以有效解决果浆加工过程中香气损失的问题,为副产物应用提供了参考和新途径,促进了可持续发展。

参考文献

- [1] FAOSTAT[EB/OL]. (2024-12-20) [2024-12-23]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- [2] MARTIN M, QIAN H. Mango bioactive compounds and related nutraceutical properties-a review [J]. Food Reviews International, 2009, 25(4): 346-370.
- [3] 崔翠翠,刘月,荣光,等.添加橙油对橙汁风味和稳定性的影响[J]. 食品工业科技,2024,45(7):126-133.
- [4] YETISEN M, GUCLU G, KELEBEK H, et al. Elucidation of key aroma enhancement in cloudy lemon juices by the addition of peel oil using GC-MS-Olfactometry [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2022, 57(8): 5280-5288.
- [5] WRIGHT A J, PYLE D L. An investigation into the use of the spinning cone column for in situ ethanol removal from a yeast broth [J]. Process Biochemistry, 1996, 31(7): 651-658.
- [6] FAISAL E S, MAT Z, RAFIA S, et al. Techniques for dealcoholization of wines: Their impact on wine phenolic composition, volatile composition, and sensory characteristics [J]. Foods, 2021, 10(10): 2498.
- [7] YULISSA Y. B S, AMAURY T R, FULGENCIO M I, et al. Dealcoholized wines by spinning cone column distillation: phenolic compounds and antioxidant activity measured by the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl method [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(15): 6770-6778.
- [8] 高阳,赵生,许式强,等.龙井茶挥发油的旋转锥体柱提取及其应用研究[J]. 食品工业,2015,36(5):120-124.
- [9] LUO Y, WANG K, FENG T. Elucidation of aroma compounds in passion fruit (*Passiflora alata* Ait) using a molecular sensory approach [J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(9): 14224.
- [10] MA X W, SU M Q, WU H X, et al. Analysis of the volatile profile of core Chinese mango germplasm by headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Molecules, 2018, 23(6): 1480.
- [11] 龙立梅,宋沙沙,曹学丽.基于香气成分气相色谱-质谱指纹图谱的判别分析和相似度评价用于绿茶等级差异研究[J]. 色谱,2019, 37(3): 325-330.
- [12] JÚLIA C. K, VANESSA V, ISABEL M. M, et al. Chemical and organoleptic properties of bread enriched with *Rosmarinus officinalis* L.: The potential of natural extracts obtained through green extraction methodologies as food ingredients [J]. Food Chemistry, 2022, 384: 132514.
- [13] 谢若男,马晨,张群,等.海南省芒果主产区主栽品种果实挥发性成分的对比[J]. 热带作物学报,2019,40(3):558-566.
- [14] OLIVER-SIMANCAS R, MUÑOZ R, ALAÑÓN M E. Mango by-products as a natural source of valuable odor-active compounds [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(13): 4688-4695.
- [15] LIU H C, AN K J, SU S Q, et al. Aromatic characterization of mangoes (*Mangifera indica* L.) using solid phase extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry and olfactometry and sensory analyses [J]. Foods, 2020, 9(1): 75.
- [16] ZHANG H Y, HUANG D, PU D D, et al. Multivariate relationships among sensory attributes and volatile components in commercial dry porcini mushrooms (*Boletus edulis*) [J]. Food Research International, 2020, 133: 109112.
- [17] 上海交通大学-食品风味创新团队-风味数据库[EB/OL].(2021-11-29)[2024-08-15].<https://mffi.sjtu.edu.cn/database>.
- [18] 里奥·范海默特(荷),刘强,冒德寿,等.化合物香味阈值汇编[M].北京:科学出版社,2015.
- [19] 刘秀明,李源栋,张翼鹏,等.基于分子蒸馏分离云南冰糖脐橙“褚橙”精油结合GC-MS分析香气成分[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019,34(4):631-636.
- [20] Flavornet Home Page[EB/OL]. (2004-06-25) [2024-08-15]. <http://www.flavornet.org/index.html>.
- [21] BENDER R J, BRECHT J K, BALDWIN E A. Aroma of mature-

- green and tree-ripe mangoes after refrigerated air or controlled atmosphere storage [J]. *Ciencia Rural*, 2022, 52(6): e20210062.
- [22] 胡隆孝,曹琳彩,王凯,等.采后催熟对‘台农一号’芒果理化品质及营养特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(2): 369-375.
- [23] WANG Z L, XIAO Q, ZHUANG J D, et al. Characterization of aroma-active compounds in four yeast extracts using instrumental and sensory techniques [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(1): 267-278.
- [24] QUIJANO C E, SALAMANCA G, PINO J A. Aroma volatile constituents of Colombian varieties of mango (*Mangifera indica* L.) [J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2007, 22(5): 401-406.
- [25] PAULO R. R. M, LAIANE C. Pena, FABIO N. D, et al. Mango (*Mangifera indica*) aroma discriminate cultivars and ripeness stages [J]. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2020, 31(7): 1424-1433.
- [26] CANUTO K M, DE SOUZA M A, GARRUTI D D. Volatile chemical composition of mango fruit ‘Tommy Atkins’, cultivated in São Francisco Valley, at different stages of maturity [J]. *Quimica Nova*, 2009, 32(9): 2377-2381.
- [27] 唐会周,明建,程月皎,等.成熟度对芒果果实挥发物的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(16): 247-252.
- [28] 刘华南,江虹锐,陆雄伟,等.顶空固相微萃取-气质联用分析不同芒果品种香气成分差异[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(11): 211-217.
- [29] 黄立标,袁艺洋,陈琳,等.基于主成分分析和HS-SPME-GC-MS技术综合评价不同品种芒果品质特性[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(3): 297-306.
- [30] ERASTO P, VILJOEN A M. Limonene-A review: Biosynthetic, ecological and pharmacological relevance [J]. *Natural Product Communications*, 2008, 3(7): 1193-1202.
- [31] 欧泽洁,孔凡玉,周月南,等.基于超临界CO₂萃取和旋转锥体柱法的啤酒花提取物香气特征比较[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14 (12): 46-53.
- [32] ELOISA HELENA A. A, JOSÉ GUILHERME S. M, MARIA DAS GRAÇAS B. Z. Aroma volatile constituents of brazilian varieties of mango fruit [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2000, 13(1): 27-33.
- [33] PINO J A. Odour-active compounds in mango (*Mangifera indica* L. cv. Corazon) [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2012, 47(9): 1944-1950.
- [34] XIAO Z B, XIANG P, NIU Y W. Evaluation of the perceptual interaction among sulfur compounds in mango by Feller’s additive model, odor activity value, and Vector model [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(32): 8926-8937.
- [35] ZHANG W T, DONG P, WU J H. Characterization of the major aroma-active compounds in Keitt mango juice: Comparison among fresh, pasteurization and high hydrostatic pressure processing juices [J]. *Food Chemistry*, 2019, 289: 215-222.
- [36] 余炼,滕建文,左俊,等.广西百色地区不同品种芒果香气成分分析[J]. *现代食品科技*, 2008, 3: 276-280, 284.
- [37] 张劲.芒果香气特征分析研究[D]. 南宁:广西大学, 2011.
- [38] CUEVAS-GLORY L F, SAURI-DUCH E, PINO J A. Characterization of odor-active compounds in mango ‘Ataulfo’ (*Mangifera indica* L.) fruit [J]. *Chemical Papers*, 2020, 74(11): 4025-4032.
- [39] 项攀.芒果香气化合物协同作用研究[D]. 上海:上海应用技术大学, 2021.
- [40] 王学娟,孙胜南,高海燕.广西肉桂不同部位精油组分差异及感官品质比较[J]. *香料香精化妆品*, 2022, 4: 8-12, 36.